

栗山悦子*・下村裕子*： ^{60}Co γ 線照射食品の組織変化
に関する研究 (4)** 照射ジャガイモの変形芽

Etsuko KURIYAMA* & Hiroko SHIMOMURA*： The morphological
and histological effects of ^{60}Co γ -rays (4)** The deformed
buds on the irradiated potato tuber

(Plate III)

本報ではジャガイモの照射品に生ずる変形芽の外部および内部形態について、品種間における差異と照射時期および照射線量の違いによって生ずる差異を明らかにした。併せて芽の形態および組織を調べることによって照射線量推定の可否について考察する。なお、対照としての非照射品の正常な休眠芽の形態とその発育形態およびそれらの略号については下村・栗山 (1976) 3 報を参照されたい。

実 験 の 部

材料 Table 1 に示す 2 品種 3 材料を用い、3 時期 (I~III) に Table 2 の照射条件でそれぞれ 7,000, 15,000, 30,000 rad の 3 種の照射品を作成し、これら照射品および対照としての各非照射品とを 15°C の定温室内に貯蔵したものを試料とした。

Table 1

材	料	栽 培 地	収 穫 日	照 射 日	材料の略号
Danshaku	男爵	栃木県宇都宮	1974.7.10	(I) 1974. 8. 8 (II) 1974. 9.10	74-7-D-I 74-7-D-II
"		北海道札幌	1974.9. 4	(III) 1974.11.22	74-9-D
Nôrin No. 1	農林 1 号	" "	1974.9.27	(III) "	74-9-N

照射条件 理化学研究所の装置を使用し、個々のジャガイモに対する照射線量のばらつきをできるだけ少なくするために、高さ 23 cm, 巾 27 cm, 厚さ 6 cm の箱にジャガイモを動かぬように一重に詰めて照射した。なおイオンの均一化をはかるため照射の途中で箱を 180° 回転した。

* 東京薬科大学. Tokyo College of Pharmacy, Horinouchi, Hachioji, Tokyo.

** 本誌 51: 303-310 の (3) から続く. Continued from the third report in Journ. Jap. Bot. 51: 303-310, 1973.

Table 2

照 射 線 量	7,000 rad	15,000 rad	30,000 rad
照 射 線 量 率	$7.2 \times 10^4 \text{R/hr.}$	$7.2 \times 10^4 \text{R/hr.}$	$7.2 \times 10^4 \text{R/hr.}$
照 射 時 間	5.8 min.	12.5 min.	25 min.

貯蔵 3報と同条件で保存した。

方法 (1) 外部形態 変形芽の形態は解剖顕微鏡下で観察した。

(2) 内部形態 3報と同様にして得た芽の切片を用い比較検討した。

標示 3報と同様に収穫年、月、品種の略号に加え照射時期Ⅰ～Ⅲ (Table 1 参照)、照射線量 7, 15, 30 を組み合わせて 74-7-D-I-30 (1974年7月収穫の男爵で8月8日に 30,000 rad 照射したもの) のごとく標示する。

結果

変形芽の上面視および縦断面を Figs. 1, 3-5 に、これらのうち3報との比較検討に必要な生長点を含む幼葉 (Figs. 3₂, 3₃, 4₃ 中の□でかこんだ部分) の顕微鏡写真を Plate III に示し、変形芽の外、内部形態およびそれらを構成する幼葉の構造について説明する。なお幼葉の表現は、略号 ylf₁ (発育程度が少いものの総称)、ylf₂ (やや進んだ場合)、更に発育程度の差の詳細を論ずる場合、3報の〔C〕項で用いた葉位の略号 I, P₁, P₂ などを用い記載する。

〔A〕変形芽の種類 (Figs. 1, 3-5)

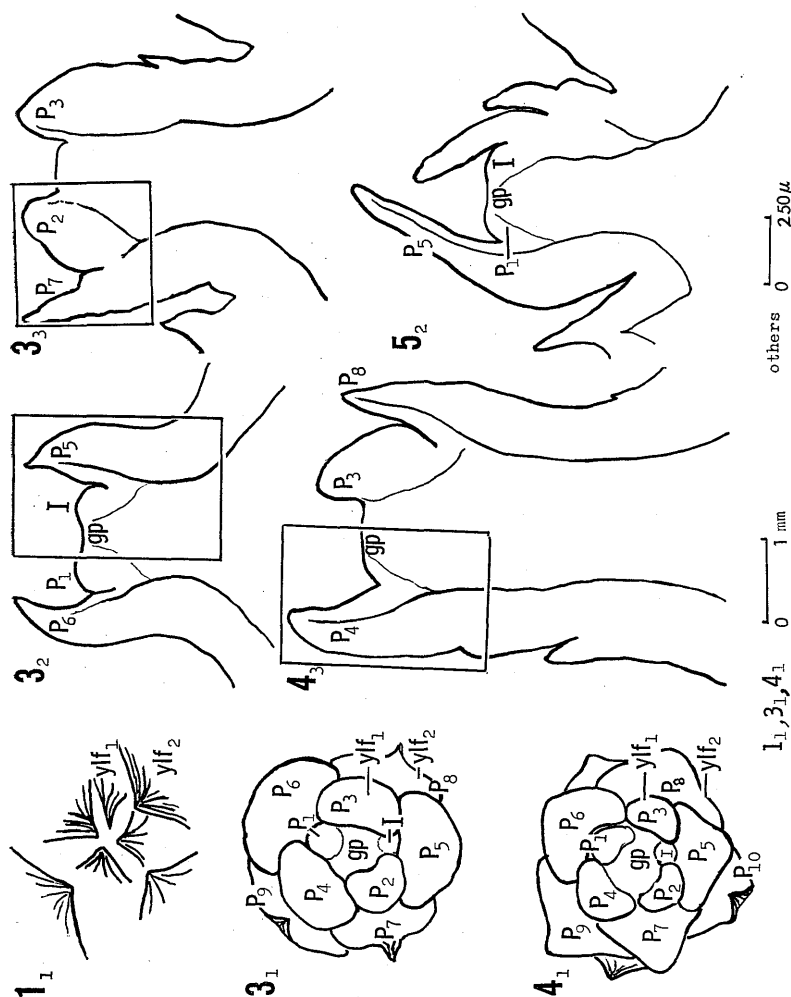
照射直後および対照の非照射品が休眠の期間中では 30,000 rad 照射品の幼葉に褐変がみられる以外は著しい変化はなく照射時の芽形を保っている。

対照の非照射品が完全に休眠終了した時期にあたる照射後3ヶ月経過時には、低線量照射では幼葉に照射品特有のふくらみがあらわれ、高線量照射では褐変萎縮が起るのが特徴的である。これらは以下に示すような6種の変形芽 (M₁~M₆) に分類できる。以下本略号を使用する。このうち M₃~M₆ タイプは照射品を容易に判定しうる特異的な形である。

M₁タイプ (Fig. 1₁) すべての幼葉は褐変萎縮し、正常な休眠芽 (3報 Fig. 1₃-bu₁) より目立たない芽となる。外傷により幼葉が褐変した場合と類似の外観を呈する。30,000 rad 以上の高線量照射品にのみみられる。

M₂タイプ 褐色の幼葉の間に数枚の白いややふくらみをもつ幼葉の重なりがみられる。照射による変形が不明瞭であり非照射品の芽 D01~4, N01~4 と外形上、余程の注意を払わねば区別は困難である。30,000~15,000 rad 照射品にみられる。

M₃タイプ (Fig. 3) 照射品にきわめて特徴的な形態で上面視 (3₁) では梅の花のような形を呈する。生長点 (gp) は露出しほぼ円形の平板状をなし、葉原基 (I) および最も若い幼葉 P₁ はわずかに、また幼葉 (ylf₁) の P₂~P₅ (又は P₆) は白く丸くふく



Figs. 1, 3-5. Diagrams of deformed buds on the irradiated tuber. Bold numerals 1, 3-5 correspond to M₁, M₃-M₅ types. 11-41: apical view. Others: longitudinal sections. 32, 52: through leaf primordia (I) and the youngest leaf (P₁). 33: through P₂ and P₃ in 31. 43: through P₃ and P₄ in 41.

らみ M₃ の形を特徴づけている。幼葉 (ylf₂) の P_{(6), 7} は下方がわずかに白くふくらむのみでその先端部は外側にある幼葉の P₈, P₉ と同様に褐変する。

縦断面 (3₂) は I-P₁ 面すなわち P₆, P₁, gp, I, P₅ の断面がみられ, D01₁ の縦断面 (3 報 Fig. 3) に相当する。幼葉 P₃ はふくらみ開出するため生長点上部に横断面はみられない。

縦断面 (3₃) は P₂-P₃ 面すなわち P₇, P₂, gp, P₃, P₈ の断面がみられ生長点付近の

構造は D01₂ の縦断面 (3 報 Fig. 4) に相当する。しかし生長点は露出し、節間の伸長は少い。15,000 rad 以下特に 7,000 rad 照射品に広く分布する。

M₄ タイプ (Fig. 4) 上面視 (4₁) では「はす」の花のような形を呈する。生長点、葉原基 (I), 最新生の幼葉 P₁ は M₃ タイプと同様であるが、幼葉 P₂~P₄ は M₃ の場合より若干長く、幼葉 P₅~P₇ は長だ円形にふくらみ開出する。幼葉 P₈, P₉ は先端のごく 1 部が褐変しやや開出した三角形を呈し、また芽を構成する幼葉の枚数が M₃ に比べ多いなどが M₄ の形を特徴づけている。P₁₀ 以上のものは M₃ の P₈, P₉ と同様に褐変萎縮し、上面視では開出する他の幼葉のため目立たない。側面視 (4₂) では P₉, P₄, gp, P₃, P₈ の断面がみられる。

M₅ タイプ (Fig. 5₂) 上面視に於いて通例生長点は露出しない。縦断面 (5₂) では生長点 (gp) および葉原基 (I, P₁) の上をわずかに伸長した幼葉 P₂~P₄ がゆるくおおい、その上を非常に伸長した P₅~P₇ が斜めにおおう。幼葉は通例開出しない。P₅~P₇ 位の幼葉の伸長が M₅ の形を特徴づけている。茎に相当する部分の直径も若干増加する。「農林 1 号」および照射期が遅れた場合の変形芽に多くみられる。

M₆ タイプ M₃ および M₄ タイプを示しかつ生長点付近から細長い不定芽 (直径 1 mm 以下、長さ 1~2 cm) を生じるもので、7,000 rad 照射品にのみまれに出現し、その場合では 1 個の塊茎中 1~数個にすぎない。

[B] 変形芽を構成する幼葉の内部形態 (Figs. 3₂, 3₃, 4₃, Plate III)

M₃~M₅ タイプの芽を構成する幼葉の縦断面に於ける構造について発達の順を追って記す。

発生初期の葉原基 lpr' (I), および明瞭な葉原基 lpr (P₁) (Fig. 3₂, Pl. III の 3₂) 生長点 (gp) の最外層の細胞 (外衣第 1 層目) は表面に平行方向に引き伸ばされる。これと前形成層条 (prc) とによって囲まれる 5~6 層の柔細胞は拡大、胞化する。

幼葉 ylf₁

M₃ タイプの変形芽の幼葉 P₂ (Fig. 3₃, Pl. III の 3₃-P₂) では先端はほぼ円形をなす。前形成層 (prc) の流れこみは乱れ稀に導管 (v) が出現する。表皮細胞は上部約 1/3 までの部分 (ep₁) は方形であるが、その下部約 2/3 の節間に相当する部分 (ep₂) は垂層方向に巾がせまい。この表皮細胞 (ep₁) の内側部分はほぼ等径性の均一な柔細胞からなるが、表皮細胞 (ep₂) に接する 1 層の細胞は葉先から基部へと向って伸長し、その内部に位置する細胞特に維管束 (vb) に接する 1~2 層は放射方向に拡大する。M₅ タイプ変形芽の幼葉 P₃ (Fig. 3₃) では前者よりやや発達したもので向背軸側の組織に明らかな差を生ずる。表皮細胞は節相当部分より上部ではほぼ方形であるが、節間部特に節直下部は垂層分裂のため非常に巾がせまい。前形成層は木化し維管束 (vb) が明らかとなる。柔細胞は向軸側では著しい変化を認めないが、背軸側特に節相当部分では著しく放射方向に伸長する。節間の皮層細胞はほぼ球形をなす。

M₃ タイプ変形芽の幼葉 P₄ および M₄ タイプ変形芽の P₃ では共に M₃ タイプ変形芽の P₃ に類似の形態を示す。

M₄ タイプ変形芽の幼葉 P₄ (Fig. 4₃, Pl. III の 4₃) では先端は鈍頭をなし表皮細胞 (Pl. III の 4₃-ep) は向軸側では葉先方向に伸長、背軸側ではほぼ方形、節間部では垂層分裂 (a. d.) して非常に巾がせまい。柔細胞はほぼ方形であるが、維管束 (vb) に接する背軸側の 1~2 層は放射方向に拡大する。

幼葉 ylf₂

M₃ タイプ変形芽の幼葉 P₅ (Pl. III の 3₂-P₅) では先端は 1 部褐変萎縮する。その程度には差があり全く褐変しない場合もある。表皮細胞は向、背軸側ともに葉先方向にやや伸長する。維管束 (vb) は非照射品 D01₁ の P₅ (3 報 Pl. VI の 3-ylf₂) に比べ明確である。柔細胞は向軸側では放射方向に拡大する一方、背軸側では節間相当部分の維管束に接する 1 層のみが放射方向に拡大する。

M₃ タイプ変形芽の P₇ (Fig. 3₃, Pl. III の 3₃-P₇) では先端の褐変の範囲は広く節間部の柔細胞の拡大は少ない。

M₄ タイプ変形芽の P₅~P₉ の幼葉では褐変の範囲はごくわずかである。

なお、“農林 1 号” の照射品にしばしば出現する M₅ タイプ変形芽では葉原基 (I, P₁) の変化の程度は若干少く、M_{3,4} タイプ変形芽のそれとほぼ同様である。しかし幼葉 ylf_{1,2} (Fig. 5₂-P₅) は伸長し、維管束 (vb) は明確である。柔細胞は向、背軸共に変化は著明でない。節間相当部の皮層細胞 (cx) が M_{3,4} タイプの場合と同様に放射方向に拡大する。この傾向は 30,000 rad 照射品の場合 (Pl. III の 1-cx) にみられる。

〔C〕 変形芽の分布 (Table 3)

照射時の芽形 D01₁~D02, N01~3 を示した各試料区の照射後 3 ケ月経過時の変形芽 (M₁~M₅ タイプ) の分布状態を Table 3 に示す。なお次項〔D〕の組織変化の範囲 (H₁~H₃) の結果を同表に付記した。

Table 3

材 料	照射時の芽の形	照射後 3 ケ月の芽形		
		7,000	15,000	30,000 rad
74-9-D	D01 ₁	M ₃ H ₃	M ₃ H ₂	M ₂₋₃ H ₂
74-7-D-I	D01 ₂	M ₃ H ₃	M ₃ H ₂	M ₁₋₂ H ₁
74-7-D-II	D02	M ₄ H ₃	M ₂₋₃ H ₂	M ₂ H ₁
74-9-N	N01-3	M ₅ H ₃	M ₂₋₃ H ₂	M ₂ H ₂

M₁~M₅ Types of dormant buds

H₁~H₃ Types of necrosis in growing point

7,000 rad 照射品は照射時の芽形 (D01₁~D02) と変形芽のタイプ (M₃~M₅) の関係が明確であり、休眠芽 D01₁, D01₂ の試料区ではいずれも M₃ を示した。なおやや発達した休眠芽 D01₂ の試料区中に M₄ が稀に出現する。

Table 3 はイモ上半部分の頂芽を除く 6~7 ケのくぼみの中央の芽を対象とした観察結果であるが、7,000 rad 照射品では 1 つのくぼみ中の 3~4 ケの芽が 1 せいに M₃ の状態を示すので非常に目立つ。更に、頂芽優勢の傾向の明確な“男爵”特に 74-9-D では頂芽はおおむね M₄ の変形芽を示した。

7,000 rad 照射品ではいずれの試料区も不定芽を生ずる M₆ タイプが稀に出現する。他線量では M₆ は出現しない。

15,000 rad 照射品は照射時の芽形 D01₁, D01₂ の試料区では M₃ を示すが、1 つのくぼみ内の中央のものに限られ、両わきのものは通例 M₂ を示す。

30,000 rad 照射品はいずれも照射時の芽形にかかわらず M₁₋₂ であり、稀に 74-9-D に M₃ がみられる。

なお、照射直後のもの、あるいは休眠中または照射後の経日の少ないものは照射線量の多少にかかわらず M₁₋₂ を示す。

〔D〕 生長点付近の組織変化 (Table 3)

照射後 3 ケ月経過時の各試料区に於ける生長点付近のネクロシスの状態と照射時の芽形との関係を Table 3 に示した。

なお、照射によるネクロシスについてはすでに報告¹⁾したように照射線量により範囲および程度が異なり、以下の 3 つのタイプに要約できる。

H₁ タイプ 外衣, 内体, 前形成層の細胞条とこの細胞条にはさまれた髄の細胞群にネクロシスを起こす。

H₂ タイプ 外衣, 内体, 前形成層の内体に近接する部分にネクロシスを起こす。

H₃ タイプ 外衣, 内体中の数細胞にのみネクロシスが認められる。

同一線量の試料間の生長点付近のネクロシスの範囲は 7,000 rad 照射品では H₃, 15,000 rad 照射品では H₂, 30,000 rad 照射品では H₁₋₂ タイプであった。

考 察

(1) 照射時の芽形と変形芽の形態との関係

照射品の特徴となる M₃~M₅ を生ずる原因は照射時に芽を構成する葉原基や幼葉の発達過程——葉原基 (epr'), (epr), 前形成層と柔細胞からなる未熟な幼葉 (ylf₁), 維管束と向, 背軸へ分化した柔細胞からなるやや成熟したもの (ylf₂)——に関連する。すなわち、未熟なもののほど柔細胞は方向性のない拡大を示しその結果幼葉は丸くふくらむ。M₃ タイプはこれの最もよい例である。細胞の成熟発達に従って照射による影響は少なくなり、背軸側の柔細胞のみが放射方向に拡大するため幼葉はだ円形となり M₄

タイプを示す、また先端近く迄前形成層が発達した幼葉では柔細胞の変化は少なく、全体として伸長し斜出するため M_3 タイプを示し、これらの皮層の柔細胞は放射方向に拡大するので芽の直径はやや増大する。

(2) ネクロシスの範囲差

同一品種に同一照射線量を用いた場合に生ずるネクロシスの範囲差については、本実験で用いた材料は春収穫（関東産）と秋収穫材料（北海道産）であったため収穫時期の差によるものか産地差によるものかを明らかにすることは出来なかった。辰巳ら³⁾はジャガイモの照射による褐変現象は九州、近畿産のものが東北、北海道産のものに比し著しく、これは産地差であると結論していることから、ネクロシスの範囲差を生じたことは収穫時期の差か産地差によるものか興味がある。

謝辞 材料の入手の御便宜を計られた北海道大学水谷純也教授、照射に御協力された理化学研究所杉山晃博士に深謝致します。

引用文献

- 1) 下村・栗山：植研 45 (11) : 343 (1970). 2) 下村・栗山：植研 51 (10) : 303 (1976). 3) 辰巳・茶珍・緒方：食品照射 6 : 100 (1971).

Summary

Relationships between morphology and histological structure of deformed buds of irradiated potatoes and development of normal buds at irradiation were examined with two cultivated stocks, "Danshaku" and "Nôrin No. 1", in order to establish a method for morphological and histological detection of irradiated potatoes. Exposure doses of 7,000, 15,000 and 30,000 rad were used. Some materials harvested in the spring were irradiated on August 8th, and others irradiated on September 10th. The materials harvested in the autumn were irradiated on November 22nd. The results were as follows:

(1) Three months after irradiation, buds deformed variously depending on their exposure doses and on whether they were irradiated during or after the resting period.

There were three types of deformed buds in the samples which received 7,000 rad. In the case of samples irradiated at the time when the material showed $D01_1$, $D01_2$ type, their young leaves became swollen and the growing point was exposed, and then their buds changed to plum-flower-like form (M_3 ,

type). In samples irradiated at a later stage of the resting period, these buds changed to lotus-flower-like form (M_4 type). In samples irradiated after the resting period, especially in "Nôrin No. 1", their young leaves elongated without swelling and covered their growing point loosely (M_5 type), and cortex cells in the internode of young leaves became enlarged in a radial direction to vascular strand.

In the case of samples irradiated with 15,000 rad their young leaves developed only slightly.

(2) Different types of young leaves on deformed buds originated from various developmental shapes of young leaves by irradiation. Small mound beside the growing point originated from leaf primordia. Swollen leaf in M_3 type originated from a young leaf (ylf_1) in an early developmental stage that consisted of procambium and unspecialized parenchyma. Elongated leaves in M_5 type originated from young leaves that consisted of procambium and specialized parenchyma.

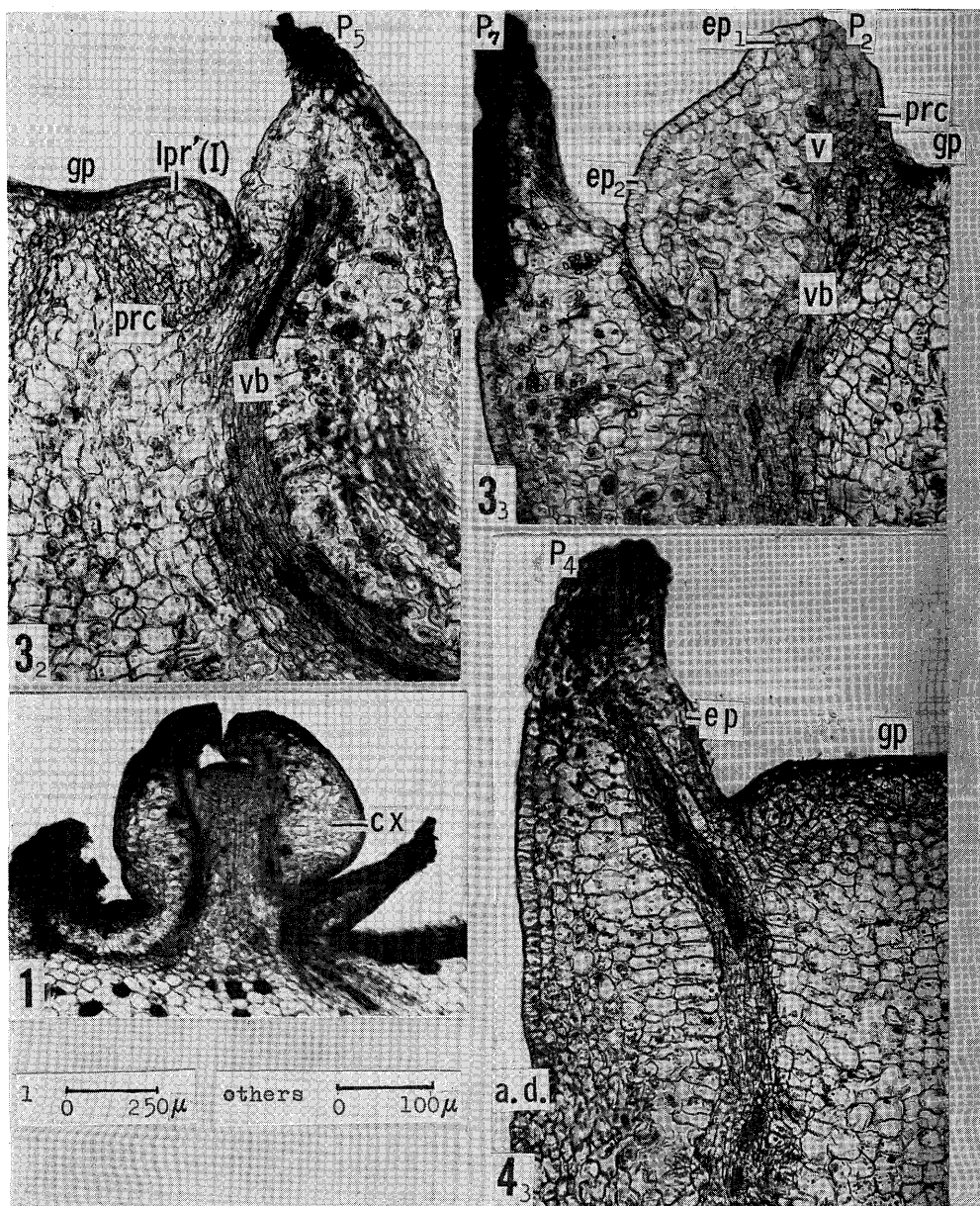
(3) Necrotic area of growing point caused by the exposure dose was nearly constant and did not fluctuate according to the shape of bud at irradiation.

(4) Whether potatoes have been irradiated or not can be detected by observation of bud shape and apical region of the bud. By morphological observation of bud shape on potatoes, test sample given 7,000 rad can be detected from the fact that deformed buds M_3 - M_5 appear after the resting period.

By histological observation of apical region of the bud, test sample given 15,000 and 30,000 rad can be detected from the fact that necrosis of apical region appears at all times after irradiation. The histological detection of sample irradiated with 7,000 rad is very difficult.

Explanation of Plate III

Photographs 3₂, 3₃ and 4₃ correspond to the outlined areas in text figures 3₂, 3₃ and 4₃, respectively. Photograph 1 shows a longitudinal section of bud irradiated with 30,000 rad. a.d.: anticlinal division. cx: cortex. ep: epidermis. gp: growing point. lpr: leaf primordia. prc: procambium. v: vessel. vb: vascular bundle. ylf: young leaf.



E. KURIYAMA & H. SHIMOMURA: Morphological and histological effects of ^{60}Co γ -rays